

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Крокуючий квадропод»**

Київ – 2020 року

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						2
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладів і систем орієнтації і навігації**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«__» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані
технології та системи навігації і керування»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»
на тему: «Крокуючий квадропод»**

Виконав:

студент III курсу, групи ПГ-п71

Платов Ілля Михайлович _____

Керівник:

Доцент, к. т. н., доцент

Павловський Олексій Михайлович _____

Рецензент:

Доцент, к. т. н., доцент

Маркін Максим Олександрович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2020 року

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						3
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет _____ Приладобудівний _____
(повна назва)

Кафедра _____ Приладів і систем орієнтації і навігації _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПСОН

_____ Надія БУРАУ _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проект (роботу) студенту**

Платов Ілля Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту _____ Крокуючий квадропод _____

керівник проекту _____ Павловський О. М., доцент, к. т. н. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. № 1180с

2. Строк подання студентом проекту 12.06.2020 р.

3. Вихідні дані до проекту

Платформа, що має 4 кінцівки, та може переміщуватись в просторі виконуючи крокоподібні рухи (крокуючий робот - квадропод).

4. Вступ. Огляд конструкцій сучасних роботів-маніпуляторів різного призначення та з різною кількістю рухомих кінцівок. Створення прототипу крокуючого квадроподу. Кінематика робота. Огляд матеріалів конструкції, Вибір виконавчих елементів, керуючого ядра та додаткових чутливих елементів. Складання прототипу. Випробування макетного зразка.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) _____

Збіркове креслення (A1), Деталювання (A2), Кінематична схема (A1),

Схема електрична принципова (A1) _____

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		4

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз завдання до дипломного проекту	18.05.2020 – 20.05.2020	
2	Огляд існуючих рішень	21.05.2020 – 23.05.2020	
3	Вибір та обґрунтування елементів	24.05.2020 – 28.05.2020	
4	Проектування приладу	29.05.2020 – 02.06.2020	
5	Програмування приладу	03.06.2020 – 04.06.2020	
6	Аналіз працездатності	04.06.2020 – 05.06.2020	
7	Оформлення пояснювальної записки та графічних документів	06.06.2020 – 07.06.2020	

Студент _____
(підпис)

І.М. Платов
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту _____
(підпис)

О.М. Павловський
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						5
Зм.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ПГ-п7109.1730.06.00 ПЗ	Пояснювальна записка	62	
3	A1	ДП ПГ-п7109. 1730.06.01 КС	Збіркове креслення	1	
4	A3	ДП ПГ-п7109. 1730.06.01.01 ТК	Деталювання кришки	1	
5	A3	ДП ПГ-п7109. 1730.06.01.02 ТК	Деталювання основи	1	
6	A1	ДП ПГ-п7109. 1730.06.02 ЗК	Кінематична схема	1	
7	A1	ДП ПГ-п7109. 1730.06.03 ЕС	Схема електрична принципова	1	

				ДП ПГ-п7109.1730.06		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.				Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.					1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПСОН Гр. ПГ-п71	
Н/контр.						
Зав.каф.						

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Арк
						6
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

АНОТАЦІЯ

Під час виконання дипломного проєкту був зроблений огляд історії розвитку крокуючих роботів, оцінені їх характеристики та конструктивні особливості. Такі платформи можуть бути використані в ході військових, виробничих, будівельних, пошукових і рятувальних операцій. Оскільки, існуючі розробки є доволі перспективними, то кожен існуючий прототип, що підтвердив свою ефективність, використовується для подальшої модернізації або розробки типових конструкцій. Найчастіше, більшість використовуваних крокуючих платформ має шість рухомих кінцівок, т.з. гексаподи, у проєкті було приділено увагу конструкції, що використовує чотири рухомі кінцівки, що зменшує витрати на виготовлення подібних платформ, причому не залежно від розмірів, потужності та сфери застосування.

Особливістю даного типу крокуючих роботів є складність побудови і правильного підбору складових, їх характеристик, розташування, керуючих алгоритмів, тощо.

Обґрунтований вибір комплектуючих дозволив обрати сучасні та недорогі рішення, побудована 3D модель крокуючого робота з чотирма кінцівками. Розроблено електричну схему блока керування.

В результаті був побудований макет квадропода, який в результаті тестових запусків підтвердив правильність вибору комплектуючих та дотримання розробленої концепції побудови таких конструкцій.

Пояснювальна записка складає 65 сторінок та містить 38 рисунків, 10 таблиць, 6 додатків.

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						7
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

АННОТАЦИЯ

Во время выполнения дипломного проекта был сделан обзор истории развития шагающих роботов, оценены их характеристики и конструктивные особенности. Такие платформы могут быть использованы в ходе военных, производственных, строительных, поисковых и спасательных операций. Поскольку существующие разработки довольно перспективные, то каждый существующий прототип, подтвердивший свою эффективность, используется для дальнейшей модернизации или разработки типовых конструкций.

Чаще всего, большинство используемых шагающих платформ имеет шесть подвижных конечностей, т.н. гексапод, в проекте было уделено внимание конструкции, использующей четыре подвижные конечности, что уменьшает затраты на изготовление подобных платформ, причем независимо от размеров, мощности и сферы применения.

Особенностью данного типа шагающих роботов является сложность построения и правильного подбора составляющих, их характеристик, расположения, управляющих алгоритмов и тому подобное. Обоснованный выбор комплектующих позволил выбрать современные и недорогие решения, построена 3D модель шагающего робота с четырьмя конечностями. Разработана электрическая схема блока управления.

В результате был построен макет квадропода, результат работы которого во время тестовых запусков подтвердил правильность выбора комплектующих и соблюдения разработанной концепции построения таких конструкций.

Пояснительная записка составляет 65 страниц и содержит 38 рисунков, 10 таблиц, 6 приложений.

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						8
Зм.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

During the implementation of the diploma project, the history of development of walking robots was reviewed, their characteristics and design features were assessed. Such platforms can be used during military, manufacturing, construction, search and rescue operations. Since the existing developments are quite promising, each existing prototype that has proven its efficiency is used for further modernization or development of standard structures. Most commonly, most of the walking platforms used have six moving limbs, the so-called hexapod, and the project has paid attention to a structure using four moving limbs, which reduces the cost of manufacturing such platforms, regardless of size, power and application.

A feature of this type of walking robots is the complexity of constructing and correctly selecting components, their characteristics, location, control algorithms, etc.

The substantiated choice of accessories has allowed to choose modern and inexpensive decisions, the 3D model of the walking robot with four limbs is constructed. The electric scheme of the control unit is developed.

As a result, a model of the quadruped was built, the result of which during test runs confirmed the correctness of the choice of components and compliance with the developed concept of building such structures.

The explanatory note is 65 pages long and contains 38 figures, 10 tables, 6 appendices..

					ПГн 7109.1730.06.ПЗ	Адк
						9
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ..	11
ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА.....	14
1.1. Історія розвитку робототехніки.....	14
1.2. Огляд конструкцій сучасних промислових роботів-маніпуляторів	20
1.3. Огляд конструкцій сучасних роботів з шістьма кінцівками	22
1.4. Огляд конструкцій сучасних роботів з чотирма кінцівками	24
1.4.1. Крокуючий Робот Silo 4.....	24
1.4.2. Крокуючий Робот BigDog від Boston Dynamics	24
1.4.3. Крокуючий Робот Spot від Boston Dynamics	25
1.4.4. Крокуючий Робот Cheetah від Boston Dynamics.....	25
1.4.5. Крокуючий Робот WildCat від Boston Dynamics	26
1.4.6. Mini Cheetah від Boston Dynamics.....	27
1.4.7. LittleDog від Boston Dynamics	27
1.5. Висновки до розділу 1	29
РОЗДІЛ 2. ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КРОКУЮЧОГО РОБОТА.....	31
2.1 Вибір кінематики робота	31
2.2. Вибір матеріалу конструкції	34
2.3. Вибір приводів для руху кінцівок.....	35
2.4. Вибір керуючого ядра	40
2.5. Вибір чутливих елементів крокуючих платформ.....	43
2.6. Вибір мови програмування для реалізації програмної частини.....	45
2.7. Розробка макету крокуючого робота.....	46
2.8. Збірка макету крокуючого робота	49
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56
ДОДАТКИ	59
Додаток А	59
Додаток Б.....	63
Додаток В	64
Додаток Г	65

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КП – квадропод;
МК – мікроконтролер;
Р – робот;
ПМ – підматриця;
С – сервопривод;
МНК – матриця направляючих косинусів;
К – комп'ютер;
Д – датчик;
ДВ – двигун;
М – матеріал;
ARM – advanced risc machine
FRAM – ferroelectric random access memory
SRAM - static random access memory
DMA – direct memory access

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
Зм.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		11

ВСТУП

До початку 50-х років 20 століття концепція побудови крокуючих роботів базувалася на реалізації некомп'ютеризованих механічних системах, які лише частково могли відтворити рух людини або тварини через недосконалість конструкцій, масогабаритних, точносних характеристик [1].

З подальшим розвитком технічних і електронних засобів, мов програмування, композиції різних наук і робототехніки, стала можливою побудова різних крокуючих гуманоїдів і андроїдів, які вміють орієнтуватися в просторі, володіють технічним зором, штучним інтелектом, а також вміють будувати маршрут і управляти рухом за допомогою вбудованих датчиків і сенсорів [2].

На сьогоднішній день найбільш перспективною є розробка крокуючих роботів, які, на відміну від роботів, що рухаються за допомогою коліс або гусениці, мають кращу прохідність по поверхні зі складним рельєфом, пересіченій місцевості, по сходах всередині будівель. Дана особливість крокуючих роботів робить їх більш затребуваними в сферах сільського господарства, військових і цивільних цілях, при проведенні рятувальних операцій, будівництві. Незважаючи на це, даний тип роботів має суттєві недоліки, одними з яких є складність розробки, висока вартість і потреба в тривалому автономному живленні. Останнє може бути вирішено за допомогою ядерних елементів живлення [3].

До недавнього часу, найбільш реалізованою, була конструкція крокуючого робота з шістьма кінцівками, так званий робот-павук або гексапод, який більш стійкий за рахунок наявності більшої кількості рухомих опор. Однак, рівень сучасних технологій дав можливість передовим виробникам робототехніки, найбільш популярними з яких є Boston Dynamics, Mechanized Propulsion Systems та ін., реалізувати, економічно виправдані, конструкції роботів з чотирма кінцівками або КП (квадроподи), які застосовуються при виробничих, будівельних, пошукових, військових операціях, що особливо важливо, тому що в цьому випадку легше маскувати

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
						12
Зм.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		

робота під тварину [4]. Саме тому розробка і побудова таких конструкцій є перспективною і застосованою практично.

Таким чином, метою даної роботи є розробка і побудова крокуючого робота з чотирма кінцівками - КП.

При побудові такого робота виникає ряд завдань, для вирішення яких не існує єдиного вірного алгоритму. Тому, спираючись на концепцію побудови подібних конструкцій, можна виділити основні завдання:

- аналіз існуючих моделей крокуючих роботів - КП
- вибір М (матеріалів) для виготовлення кінцівок;
- вибір типу кінематики та реалізація алгоритмів руху;
- вибір типу та кількості приводів для руху кінцівок;
- вибір мікроконтролера в якості керуючого ядра;
- вибір ЧЕ систем орієнтації та навігації;
- вибір додаткових сенсорів та модулів;
- розміщення основних елементів.
- збірка конструкції

Готова конструкція може бути застосована для вирішення, раніше зазначених, завдань.

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
Зм.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		13

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

1.1. Історія розвитку робототехніки

Історія крокуючих машин починається з давніх часів, коли почали з'являтися перші ідеї, з погляду на існуючі засоби переміщення (карети, вози тощо), так наприклад на рис.1, який датується 18 ст. показаний транспортний засіб, переміщення якого відбувалося за рахунок ніг.

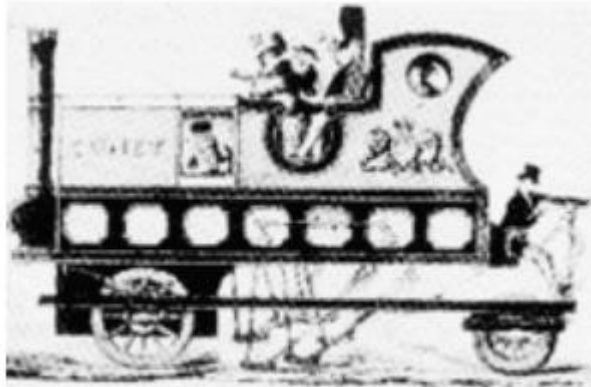


Рисунок 1. Перша ідея побудови крокуючого робота.

Згодом, у 1983 році Л.А. Ригг запропонував ідею поєднання коня та велосипеда (рис.2)



Рисунок 2. Ідея поєднання коня та велосипеда.

Надалі ідеї стали переростати в перші прототипи, одним із таких прототипів (рис.3) став механізм «Walking Machine», котрий керувався людиною і мав багато ніг для переміщення.



Рисунок 3. Walking Machine.

Іншою конструкцією став крокуючий трактор, який представляв собою симбіоз крокуючої та колісної складової (рис.4). Унікальна в своєму роді конструкція, оскільки після неї подібних машин не створювалось.

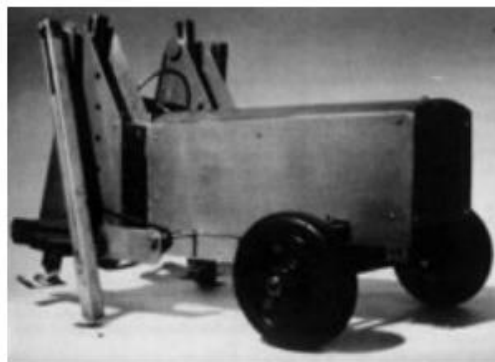


Рисунок 4. Крокуючий трактор.

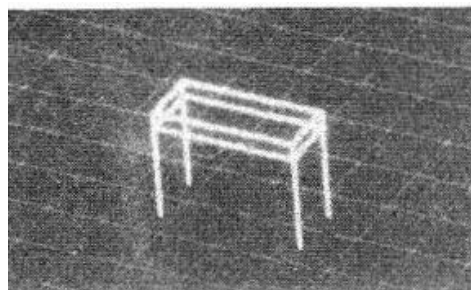
Технологічна революція у 60-70х роках 20 ст. розпочала новий етап розвитку робототехніки і одним із перших зразків цього етапу стала конструкція, реалізована у 1966 році МакГі і Франком в університеті Південної Каліфорнії (рис. 5-д). Конструкцію назвали «Phony Pony» - перший комп'ютеризований Р (робот). Ноги робота приводяться в дію ДВ (двигунами), які зроблені з, модифікованих для цієї мети, електричних

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						15
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

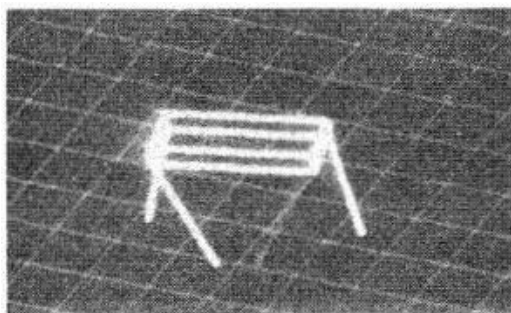
дрелей. Керував роботом оператор за допомогою джойстика (рис. 5-а), на ЕПТ – моніторі було видно: зупинка КП (рис. 5-б), відображення повороту на низькій швидкості при ходьбі (рис. 5-в), відображення повороту на високій швидкості при ристистій ході (рис. 5-г). Поява цього робота стала першим кроком для розвитку сучасної комп'ютеризованої робототехніки.



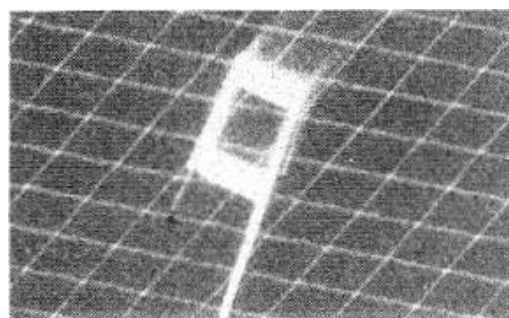
а)



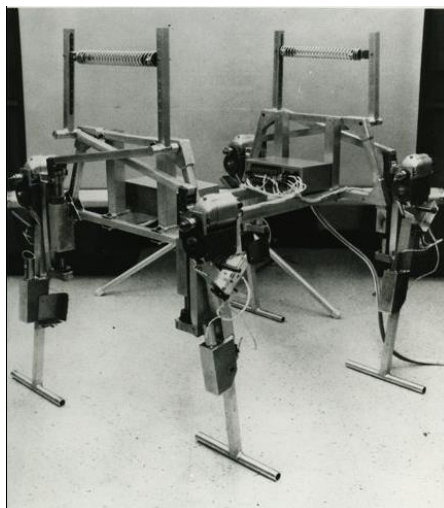
б)



в)



г)



д)

Рисунок 5. Крокуючих Р Phony Pony.

У 1968 році була завершена робота над роботом, що називався «GE Walking Truck», який так само, як і «Phony Pony», мав 4 ноги [5]. Рух робота

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
						16
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

контролювався людиною за допомогою рухів ніг і рук виключно з допомогою важелів, з'єднаних з гідравлікою через бортову систему. Це був один з перших зразків, який мав зворотний зв'язок по зусиллю, щоб дати оператору відчуття того, як відбувається рух. Після досліджень і тестувань даної конструкції було вирішено систему керування даним роботом зробити комп'ютеризованою (рис.6).

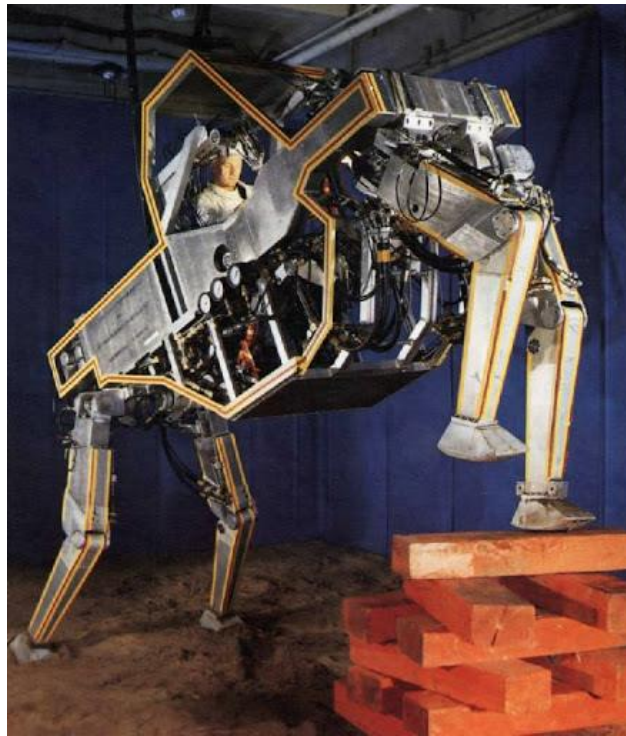


Рисунок 6. GE Walking Truck.

Bisam - спроба створити твариноподібного робота, який мав би можливість зберігати рівновагу при контакті з землею лише двох ніг. Проте, через маленьку їх довжину, відбувався нахил тіла і Р втрачав рівновагу. Дану проблему було вирішено за допомогою покращення алгоритмів руху, а саме застосування "переривчастої ходи рисі", при цьому досягалася більша стійкість тіла при динамічному русі (рис.7).

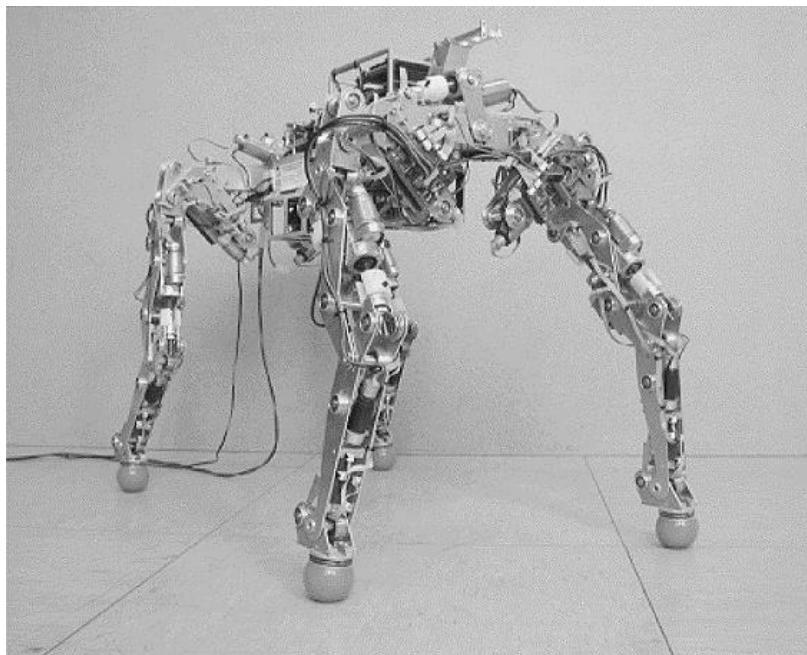


Рисунок 7. Твариноподібний P Bisam

У 1973 році команда вітчизняних вчених (доктор наук, професор В.С. Гурфункель, доктор наук А. Ю. Шнейдер, доктор Е.В. Гурфункель и колеги) завершила роботу над шестиногим крокуючим роботом (рис. 8)

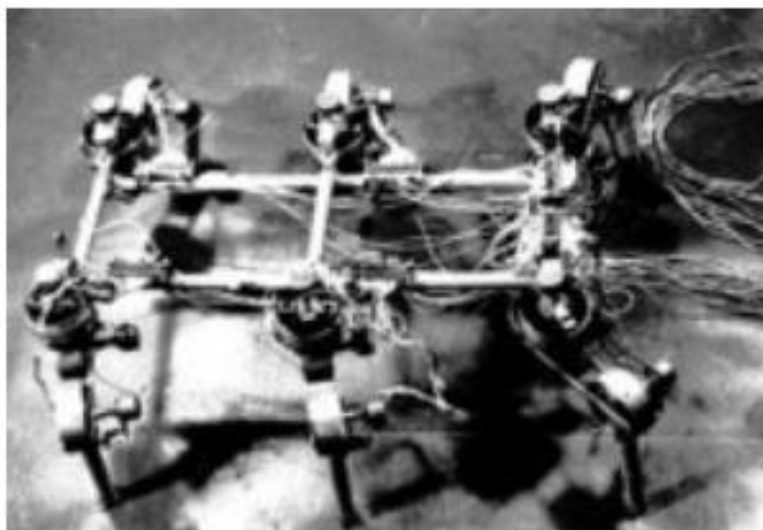


Рисунок 8. Шестиногий крокуючий P, розроблений вітчизняними вченими.

В цей же час активно вдосконалюються і розвиваються роботи, які застосовуються у виробництві, що дало значний вклад як у робототехніку в цілому, так і в окремі виробничі процеси. Це дало змогу подолати фізичні обмеження людини та покращити якість продукції, що у свою чергу

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
						18
Зм.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		

збільшило безпеку людини, темпи створення та розвитку новітніх технологій. Тенденція створення промислових роботів стала направленою на універсальність, що залишилося незмінним і на теперішній час.

На рис. 9 показаний універсальний Р «УЕМ - 5», призначений для виконання різноманітних операцій – зварювання, збірка, механічна обробка і т.п.

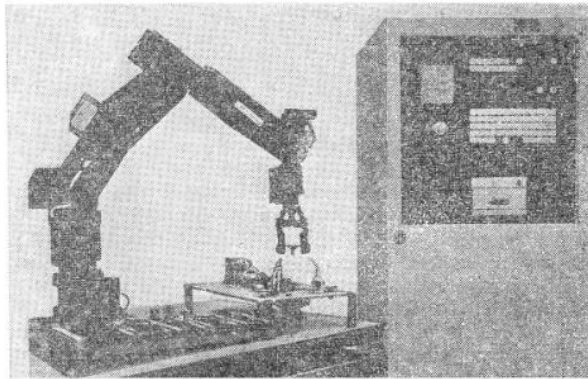


Рисунок 9. Універсальний Р «УЕМ – 5».

Поступово, гідравлічні приводи у промислових роботах стали замінювати на електромеханічні приводи, що збільшило точність, надійність і легкість керування. Почали створювати модульні конструкції, наприклад, на рис. 10 показаний модульний Р - маляр «Колер». Даний тип роботів компонується з уніфікованих конструкційних модулів, які дають змогу використовувати Р у багатьох операціях лише заміною робочого інструмента.

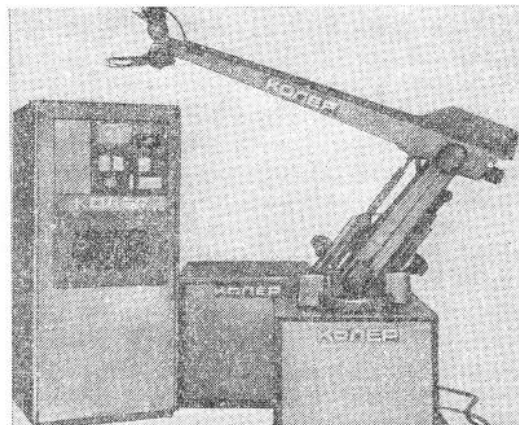


Рисунок 10. Р - маляр «Колер».

1.2. Огляд конструкцій сучасних промислових роботів-маніпуляторів

Постійно зростаючі вимоги до якості продукції, підвищення точності механізмів, стимулює промисловість розробляти нову або покращувати існуючу робототехнічну складову виробництва і, незалежно від того, які функції виконують ці роботи, клас точності, форм фактор кінцівок, габарити, їх усіх можна умовно поділити на дві групи – рухомі (вільно рухаються в інерційному просторі) та нерухомі (жорстко закріплені до поверхні) [1].

Сучасні роботи-маніпулятори пройшли довгий шлях розвитку і покращення, тому є точними, швидким, надійними, компактними та універсальними, одним із таких маніпуляторів є Р - маляр IRB 52 від ABB Group (рис.11). Технічні характеристики представлені у таблиці 1.



Рисунок 11. Р – маляр IRB 52.

Таблиця 1. Технічні характеристики IRB 52.

Тип	шарнірний
Кількість осей	6 шт.
Вантажопід`ємність	7 кг
Радіус дії	Від 1.2 до 1.45 м
повторюваність	0.15 мм

Іншими представниками даного класу роботів є серія роботів – зварювальник KR QUANTEC prime від KUKA AG (рис.12). Є

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						20
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

енергоефективними, міцними. Можуть здійснювати багато видів промислових робіт: точкове зварювання, міцне зварювання, нанесення клейких засобів, різання лазером, пайку, упаковку тощо [1]. Технічні характеристики представлені у таблиці 2.



Рисунок 12. Серія роботів – зварювальників KR QUANTEC prime.

Таблиця 2. Технічні характеристики KR QUANTEC prime.

Корисне навантаження	90-150 кг
Вага	1106-1204 кг
Вантажопід`ємність	140-230 кг
Максимальний радіус дії	3701 мм
повторюваність	0.15 мм
Кількість осей	6 шт.
Клас захисту кінцівки	IP-65

Не дивлячись на те, що автомати та роботи, що закріплені на нерухомій платформі більш поширені, точні, досконалі, та використовуються масово, наразі, більш перспективними є розробки, що вільно рухаються у просторі.

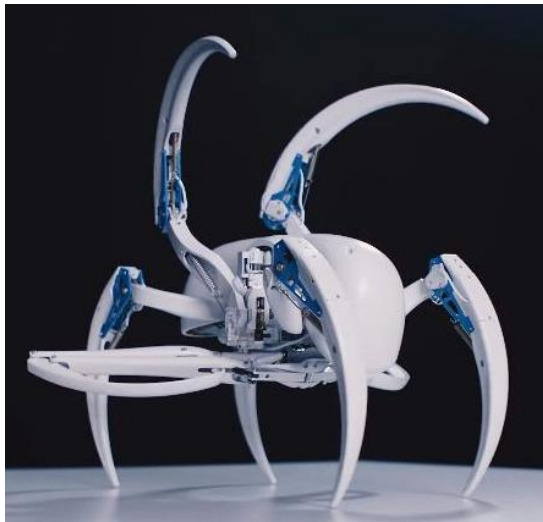
1.3. Огляд конструкцій сучасних роботів з шістьма кінцівками

Як було зазначено раніше, дуже поширеною конструкцією є крокуючі роботи з шістьма кінцівками, так звані роботи «павуки» або гексаподи. В залежності від потреб інженери реалізують конструкції, які є відображенням їхнього бачення вирішення проблеми у різноманітних сферах застосування роботів, деякі з них представлені на (рис. 13). Так, наприклад, на рис.13-а, б показаний гексапод «Festo», який може будувати кокони або плести павутину з полімерної смоли, а також трансформуватися у колесо, що підвищує його швидкість переміщення, особливо на тих поверхнях, де доцільніше використовувати для руху колесо. Така конструкція може бути використана для 3D-друку об'єктів або у розвідці [6].

Р «Неха», представлений на рис. 13-в, г, має можливість перепрограмування для вирішення різних задач. В даному випадку розробники «навчили» робота носити на собі та піклуватися, по можливості, за кімнатними рослинами. «Неха» автоматично переносить рослини з сонця у тінь та оповіщає людину про те, що рослину треба поливати [7].

Р «Mantis» від Micromagic Systems (рис.13-д, ж), зі слів розробників, є найбільшим у світі гексаподом. У висоту досягає 2.8 м, важить 1.9 т, має 2.2-літровий дизельний ДВ. Керується людиною з кабіни. Основний недолік – дуже низька швидкість переміщення, яка не перевищує 1.1 км/год [10]. Побудова таких громіздких крокуючих роботів розкрила нові проблеми перед розробниками і надалі досліджуються варіанти збільшення швидкості без втрати точності переміщення.

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						22
Зм.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		



а)



б)



в)



г)



д)



ж)

Рисунок 13. Різноманітні конструкції гексаподів

Дана конструкція є більш стійкою за рахунок додаткових кінцівок – опор, але, водночас, потребує більшої кількості М та інших складових для побудови, а отже вартість виготовлення таких роботів значно збільшується. Натомість, проблему стійкості КП можна вирішити вдосконаленням

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
Зм.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		23

алгоритмів руху, що позитивно позначиться на вартості виготовлення такої конструкції. Таким чином, надалі будуть розглядатися існуючі конструкції КП.

1.4. Огляд конструкцій сучасних роботів з чотирма кінцівками

1.4.1. Крокуючий Робот Silo 4

Silo 4 створений в 1999 році іспанським Інститутом Автоматики для досліджень і подальших розробок таких конструкцій. Маса - 30 кг, здатен рухатись по складним поверхням, долати перешкоди висотою до 250 міліметрів і перевозити близько 15 кілограмів корисного навантаження, максимальна швидкість близько 1,5 м/хв (рис.14).

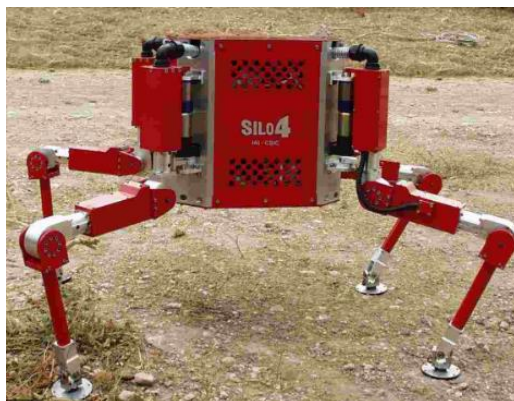


Рисунок 14. Крокуючий Р Silo 4.

1.4.2. Крокуючий Робот BigDog від Boston Dynamics

BigDog - перший роботом Boston Dynamics, який отримав широку популярність, здатний нести вантаж до 150 кг зі швидкістю до 6,4 км/год. Р має хорошу стійкість - він може збиратися по схилу до 35 градусів. BigDog має близько 50 сенсорів, які вимірюють позицію і прискорення тіла, рух і силу суглобових актуаторов, гідравлічний тиск, потоки і температуру, швидкість ДВ та ін (рис.15).

Головним недоліком BigDog був дуже шумний ДВ. Проблему шуму вирішити так і не вдалося, в 2015 році компанія відмовилася від подальших розробок цієї моделі.

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						24
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		



Рисунок 15. BigDog від Boston Dynamics.

1.4.3. Крокуючий Робот Spot від Boston Dynamics

Spot - чотириногий Р, вперше представлений 23 червня 2016 року, здатний розвивати швидкість до 1.6 м / сек. Р освоює місцевість за допомогою стереокамер, які в сумі дають кут огляду в 360 °. Важить 25 кілограм, що робить його самим легким роботом на момент 2019 року (рис.16).



Рисунок 16. Spot від Boston Dynamics.

1.4.4. Крокуючий Робот Cheetah від Boston Dynamics

Р має чотири ноги і здатен вигинати спину. Спина, як і у тварин, згинається вперед і назад при кожному кроці, що дозволяє збільшити швидкість пересування. Спина і ноги рухаються за допомогою гідромоторів.

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
Зм.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		25

Р СНЕЕТАН вперше представлений публіці у вигляді лабораторного зразка, встановленого на бігову доріжку і зафіксований від падіння обмежувачами. Живлення здійснюється від стаціонарної гідравлічної установки. Цей зразок може переміщатися зі швидкістю до 45,5 км/год (за даними розробника - до 46,7 км/год), однак дана швидкість відповідає переміщенню ніг робота, а не його здатності рухатися вперед (рис.17).



Рисунок 17. Cheetah від Boston Dynamics.

1.4.5. Крокуючий Робот WildCat від Boston Dynamics

Інженери з Boston Dynamics на замовлення військового агентства DARPA вдосконалили робота Cheetah, який зі своїми чотирма кінцівками нагадував гепарда і розганявся до швидкості 45,5 км/год.

Нова модель - WildCat оснащена автономним джерелом енергії - ДВ внутрішнього згоряння, вона вміє бігати риссю, галопом і розвертатися. Максимальна швидкість поки 26 км/год, але розробники обіцяють до 80 км/год по пересіченій місцевості (рис.18).

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Арк
						26
Зм.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		



Рисунок 18. WildCat від Boston Dynamics.

1.4.6. Mini Cheetah від Boston Dynamics

Нова, покращена модель робота Cheetah. Р може бігати зі швидкістю 4 км/год, пересуватися боком, обертатися навколо своєї осі і робити сальто. Також він може утримувати рівновагу, якщо його штовхнути. Mini Cheetah став першим роботом з чотирма кінцівками, який може робити сальто назад, при цьому він перший Р, який може робити такий трюк (рис.19).



Рисунок 19. Mini Cheetah від Boston Dynamics.

1.4.7. LittleDog від Boston Dynamics

Р, призначений для досліджень пересування. Вбудовані літєві полімерні батареї дозволяють безперервно працювати протягом 30 хвилин

без підзарядки. Також наявні бездротові комунікації і підтримка віддаленого збору даних і аналізу даних (рис.20).



Рисунок 20. LittleDog від Boston Dynamics

Зведені характеристики сучасних крокуючих роботів з чотирма кінцівками наведені у таблиці 3.

Таблиця 3. Зведені характеристики сучасних крокуючих роботів з чотирма кінцівками.

Назва	Швидкість руху	Вага	Додаткові можливості
Silo 4	1.5 м/с	30 кг	здатен рухатись по складним поверхням, долати перешкоди висотою до 250 міліметрів і перевозити близько 15 кілограмів корисного навантаження
BigDog	6,4 км/год	-	здатний нести вантаж до 150 кг, може збиратися по схилу до 35 градусів
Spot	1,6 м/с	25 кг	освоює місцевість за допомогою стереокамер, які в сумі дають кут огляду в 360 °

Cheetah	45,5 км/год	-	спина, як і у тварин, згинається вперед і назад при кожному кроці, що дозволяє збільшити швидкість пересування
WildCat	26 км/год	-	вміє бігати риссю, галопом і розвертатися
Mini Cheetah	4 км/год	-	може робити сальто назад, при цьому він перший Р, який може робити такий трюк
LittleDog	-	-	наявні бездротові комунікації і підтримка віддаленого збору даних і аналізу даних, вбудовані літієві полімерні батареї дозволяють безперервно працювати протягом 30 хвилин без підзарядки

Зі зведеної характеристики видно, що з кожним наступним екземпляром розробники КП надають своїм конструкціям нових здатностей та покращують існуючі, а отже у майбутньому значно розшириться спектр застосування даних роботів.

1.5. Висновки до розділу 1

Таким чином, проаналізувавши етапи розвитку крокуючих роботів, та розглянувши сучасні тенденції їх розробки, можна зробити висновок, що конструкції з чотирма кінцівками пройшли довгий шлях розвитку та покращення і є дуже перспективною та актуальною проблемою у робототехніці, проте існуючі зразки або мають високу вартість, або

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
						29
Зм.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		

потребують складного обладнання та навичок для їх збірки. Тому не кожен бажаючий зможе відтворити подібні конструкції для їх дослідження або подальшого покращення.

Для рішення цієї проблеми, використовуючи вищевказану концепцію побудови таких роботів, пропонується створити просту у збірці та дешеву конструкцію, яка складається з мінімуму компонентів, проте дозволяє не тільки побудувати робота, а й використовувати його для вирішення різних задач.

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
						30
Зм.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КРОКУЮЧОГО РОБОТА

2.1 Вибір кінематики робота

В процесі виконання різноманітних операцій роботу доводиться виконувати складний рух кінцівками або робочим органом. Даний рух повинен бути певної швидкості та траєкторії - це особливо важливо для промислових роботів, оскільки від даного фактору залежить точність виконуваних операцій. Рух здійснюється за допомогою виконавчих механізмів, керованих обчислюваним ядром, в ролі якого може виступати мікроконтролер.

За визначення або дослідження геометрії руху робота відносно заданої абсолютної системи координат без урахування сил і моментів відповідає кінематика руху, з якої можна виділити дві основні задачі: пряму і зворотну. Пряма задача кінематики полягає в тому, що при відомих параметрах ланок робочого органу робота та заданих кутах повороту ланок можна отримати інформацію про координати положення рухомої частини. За допомогою зворотної задачі, знаючи координати положення, можна отримати кути повороту рухомої частини.

Так як кінцівки КП можуть здійснювати як поступальні, так і обертальні рухи відносно платформи, для кожної ланки кінцівки визначається зв'язана система координат, вісі якої паралельні осям з'єднань ланок. Для вирішення прямої задачі кінематики, необхідно визначити матрицю перетворення, яка встановлює зв'язок між платформою (абсолютною системою координат) і зв'язаною системою координат. Для опису обертального руху використовується матриця повороту 3×3 - МНК (матриця направляючих косинусів). МНК можна вивести за допомогою трьох елементарних матриць повороту (1) - (3).

Розглянемо нерухому систему координат $O\xi\zeta\eta$ та зв'язану з нею, рухому $OXYZ$ (рис. 21 а-в).

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						31
Зм.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		

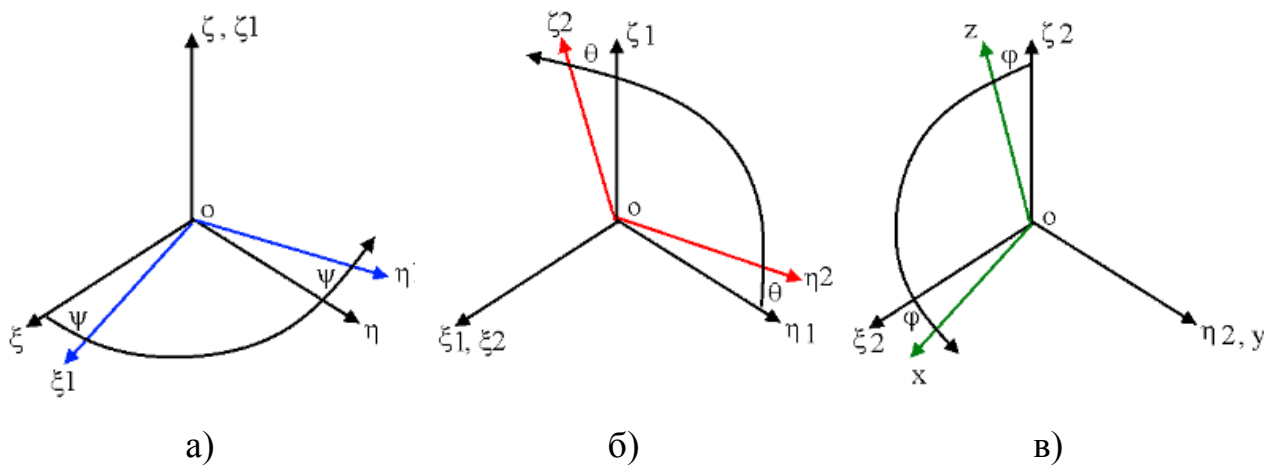


Рисунок 21. Рухома $O\xi_1\zeta_1\eta_1$ та нерухома $O\xi\zeta\eta$ системи координат.

Матриця повороту на кут ψ (рис.21 а) матиме вигляд (1):

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Матриця повороту на кут θ (рис.21 б) матиме вигляд (2):

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

Матриця повороту на кут φ (рис. 21 в) матиме вигляд (3):

$$A_3 = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (3)$$

Перемноживши матриці (1)-(3) за формулою (4), отримаємо МНК (5) для даного порядку поворотів.

$$A = A_3 \cdot A_2 \cdot A_1 \quad (4)$$

Для спрощення запису використані скорочення: C – Cos, S – Sin.

$$A = \begin{bmatrix} C \varphi C \theta - S \varphi S \theta S \psi & C \varphi S \psi + S \varphi S \theta C \psi & -S \varphi C \theta \\ -C \theta S \varphi & C \theta C \psi & S \theta \\ S \varphi C \psi + C \varphi S \theta S \psi & S \varphi S \psi - C \varphi S \theta C \psi & C \varphi C \theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

Таким чином, варіюючи порядком матриць елементарних поворотів можна отримати інші матриці кінцевих поворотів.

Для представлення векторів положення у тривимірному просторі застосовуються однорідні координати, а для врахування не тільки

обертального, а і поступального руху зв'язаної системи координат використовується матриця однорідного перетворення 4x4 – метод Денавіта-Хатенберга [1]. Даний метод базується на складанні однорідних матриць елементарних поворотів. В загальному вигляді таку матрицю можна представити як чотири підматриці (6):

$$A = \begin{bmatrix} \text{Поворот}(3 \times 3) & \text{Переміщення}(3 \times 1) \\ \text{Перетворення перспективи}(1 \times 3) & \text{Масштабування}(1 \times 1) \end{bmatrix} \quad (6)$$

ПМ (підматриця) повороту має вигляд (1) - (3). ПМ переміщення являє собою приріст координати лінійного переміщення по одній з трьох вісей (7)

$$\begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{bmatrix} \quad (7)$$

ПМ перетворення перспективи використовується в задачах машинного зору або в комп'ютерній графіці, тому в даному випадку всі її елементи нульові. ПМ масштабування використовується в задачах комп'ютерної графіки, в робототехніці елемент цієї підматриці дорівнює одиниці.

Нехай необхідно повернути робота на кут ψ навколо осі Oz (рис. 21 а), перемістити на n повздовж осі Oz , перемістити на m повздовж осі Ox та повернути на кут φ навколо осі Ox_2 . Тоді рішенням цієї задачі буде (8).

$$A = \begin{bmatrix} C \varphi & 0 & -S \varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ S \varphi & 0 & C \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & m \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C \psi & S \psi & 0 & 0 \\ -S \psi & C \psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Звідки результуюча матриця дорівнює (9):

$$A = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \psi & \sin \varphi & -\cos \varphi \sin \psi & m * \cos \varphi \\ -\cos \psi \sin \varphi & \cos \varphi & \sin \varphi \sin \psi & -m * \sin \varphi \\ \sin \psi & 0 & \cos \psi & n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Таким чином можна отримати універсальний алгоритм кінематики робота.

Щодо зворотної задачі, існує багато методів для її вирішення і обрання конкретного залежить від сфери використання КП. Деякі з них : метод зворотних перетворень, гвинтової алгебри, подвійних матриць, подвійних

кватерніонів, метод ітерацій, геометричний підхід тощо [1]. Широко застосовуються алгоритми руху на базі різноманітних регуляторів [8], хоча вони мають свої недоліки, серед яких збільшення кількості додаткових сенсорів, ускладнена система керування та додаткове навантаження на обчислювальне ядро.

2.2. Вибір матеріалу конструкції

Сучасний ринок пропонує широкий вибір М для побудови різноманітних конструкцій крокуючих платформ. Вибір обумовлений сферою застосування та умовами експлуатації кінцевого продукту і тому немає однозначної рекомендації для вибору того чи іншого М для певного виду конструкції, сфери застосування або потужності. Проте, з урахуванням розвитку 3D-друку і якості використовуваних пластиків, переважна більшість використовує саме таку технологію. Можна опиратися на масогабаритні параметри крокуючої платформи і, відповідно, на переносиме корисне навантаження. Відтак, для платформ із корисним навантаженням до 1 кг, використовуються дешеві низькотемпературні пластики, що використовують побутові 3D-принтери. Розглянемо найбільш популярні:

- ABS - пластик має міцну структуру та хорошу еластичність, не має токсичних речовин, витримує температуру до +100 °С. Може експлуатуватися при впливі різних кислот, лугів, бензину тощо, проте розчиняється в ацетоні, бензолі, етиленхлориді. Чутливий до ультрафіолету.
- PLA - готові деталі з цього пластику мають гарну ковзаючу поверхню, тому використовується для виготовлення підшипників ковзання. Має низький рівень токсичності, натомість недовговічний (до 20 років при мінімальній експлуатації) і має порівняно низьку температуру експлуатації - не більше 50 °С.

- SBS пластик порівняно з ABS більш гнучкий, не схильний до горіння (висока термостійкість). Майже повністю відсутня усадка М, нетоксичний.
- PVA розчинний у воді, тому не підходить для виготовлення повноцінних деталей. Може бути застосований в якості прошарку із використанням інших типів пластиків.

Конструкції з таких пластмас, при невеликій міцності, мають ряд переваг серед яких низька вартість, можливість заміни та ремонту пошкоджених сегментів, модернізація моделей, тощо. При корисному навантаженні більше 1кг, необхідно використовувати конструкційні пластики посилені металевими елементами на базових сегментах. Прототипи Boston Dynamics [9] використовують металевий каркас з полімерними опорами на базі карбону, що дозволяє переносити вантажі до 150 кг (BigDog та його модифікації).

Також можна використовувати акрил (органічне скло). Акрил має високу ударостійкість, легко обробляється не тільки механічно, а й термічно (термічна формовка), стійкий до від'ємних температур та ультрафіолетового випромінення, хімічним середовищам, має гарні електроізоляційні показники. Із недоліків можна виділити легку займистість.

2.3. Вибір приводів для руху кінцівок

В залежності від необхідного моменту, масогабаритних параметрів, споживаної потужності для існуючих прототипів крокуючих платформ існує широкий спектр різноманітних ДВ і приводів, серед яких можна виділити пневмоприводи (рис. 22 а), гідравлічні приводи (рис. 22 б), лінійні приводи(рис. 22 в), соленоїди (рис. 22 г), сервоприводи (С) (рис. 22 д) та крокові ДВ (рис. 22 ж). В різних конструкціях всі ці ДВ і приводи можуть використовуватися як окремо так і в комбінованому варіанті, що значно розширює сферу застосування кожного ДВ. Наприклад, лінійний привод можна використати в якості елемента кривошипно – шатунного механізму і

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
						35
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

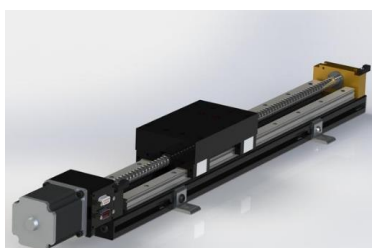
перетворити поступальний рух в обертальний. Проте варто зазначити, що приводи з Рис. 22 а-Рис. 22 г, у більшості випадків використовуються для промислових маніпуляторів, або для крокуючих платформ з великим корисним навантаженням та в даній роботі не розглядаються. Серед представлених, найпопулярнішими є С (рис. 22 д) та крокові (рис. 22 ж) ДВ, так як мають невисоку вартість, легко керуються, дозволяють отримати великі обертальні моменти, мають схему вимірювання кута, що є актуальним при побудові КП. Тому для реалізації рухомих платформ із невеликим корисним навантаженням, пропонується використовувати саме їх.



а)



б)



в)



г)



д)



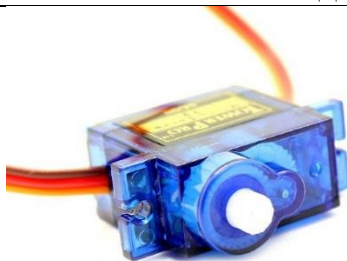

ж)

Рисунок 22. Різновиди приводів для реалізації крокуючих платформ:
а) пневмопривод; б) гідравлічний привод; в) лінійний привод г) соленоїд;
д) С; ж) кроковий ДВ



Розглянемо, існуючі на ринку, популярні моделі сервоприводів та крокових ДВ.

С «SG90 2кг» – найпопулярніший привод, особливо при побудові прототипів. Характеристики представлені у таблиці 4. Іншою схожою моделлю є «MG 90S», який, на відміну від попереднього, має металевий привод, при тому ж обертовому моменті, що робить конструкцію із застосуванням даного приводу більш надійною, особливо при максимальних навантаженнях. Характеристики представлені у таблиці 5. «MG995R 10 кг» - досить потужний С, має металевий привод та підшипник ковзання. Характеристики представлені у таблиці 6. «MG996R 15 кг» - нічим не відрізняється від попереднього, окрім більшого обертового моменту.

Таблиця 4. Характеристики сервопривода «SG90 2кг».

Характеристики		Зовнішній вигляд
Напруга живлення	3.5-5 В	
Діапазон робочих температур	від 0 до +50°C	
Струм при русі	50-80 мА	
Струм при утриманні	5-10 мА	
Кут повороту	180 градусів	
Розмір	3.3 см х 3 см х 1.3 см	
Обертовий момент	2 кг/см	
Вага	9 г	

Таблиця 5. Характеристики сервопривода «MG 90S».

Характеристики		Зовнішній вигляд
Напруга живлення	4.8 – 6 В	
Діапазон робочих температур	від 0 до +55°C	
Кут повороту	180 градусів	
Розмір	3.2 x 3.2 x 1.3 см	
Обертовий момент	1.8 кг/см (при 4.8В), 2.2 кг/см (при 6В)	
Вага	14 г	

Таблиця 6. Характеристики сервопривода «MG995R 10 кг».

Характеристики		Зовнішній вигляд
Напруга живлення	4.8 – 6 В	
Діапазон робочих температур	від 0 до +55°C	
Кут повороту	160 градусів	
Розмір	40.7 x 19.7 x 43 мм	
Обертовий момент	8.5 кг/см (при 4.8В), 10 кг/см (при 6В)	
Вага	55 г	

Серед існуючих моделей крокових ДВ можна виділити «28BYJ-48», характеристики представлені у таблиці 7. «JK42HS34-1334AC», характеристики представлені у таблиці 8.

Таблиця 7. Характеристики крокового ДВ «28BYJ-48».

Характеристики		Зовнішній вигляд
Напруга живлення	5 В	
Кількість фаз	4	
Крок	5.625 градусів	
Обертовий момент	34.3 Н/м	

Таблиця 8. Характеристики крокового ДВ «JK42HS34-1334AC».

Характеристики		Зовнішній вигляд
Опір обмотки	2.1 Ом	
Струм на обмотку	1.33 А	
Крок	1.8 градусів	
Обертовий момент	2.2 кг/см	

Також існує багато інших моделей, котрі відрізняються більшою точністю, швидкістю спрацьовування, більшими обертовими моментами і т.

п. Натомість мають значно більшу вартість і тому в даній роботі не розглядаються.

2.4. Вибір керуючого ядра

Із значним розвитком мікропроцесорної техніки, у якості обчислювального ядра, у більшості випадків, виступає один єдиний мікроконтролер (МК) – мікропроцесорна система, яка може виконувати складні обчислення та керування багатьма модулями в реальному часі. На сьогодні популярними ядрами є мікроконтролери сімейств ARM та ATmega [10]. Незважаючи на те, що реалізація алгоритмів керування на Arduino, що використовує ядро ATmega, доволі розповсюджена, більш проста, ARM-мікроконтролери більш потужні, що необхідно для обробки великої кількості даних, особливо з урахуванням особливостей кінематики і алгоритмів керування для платформ із чотирма кінцівками. Також існують мікроконтролери MSP430 від «Texas Instruments». Загальна характеристика сімейства на базі FRAM наведена у таблиці 9. Головною особливістю даних мікроконтролерів є дуже низьке енергоспоживання, що є важливим фактором при проектуванні крокуючих платформ, проте невисока, порівняно з ARM тактова частота не дає змогу обробляти великі об'єми даних.

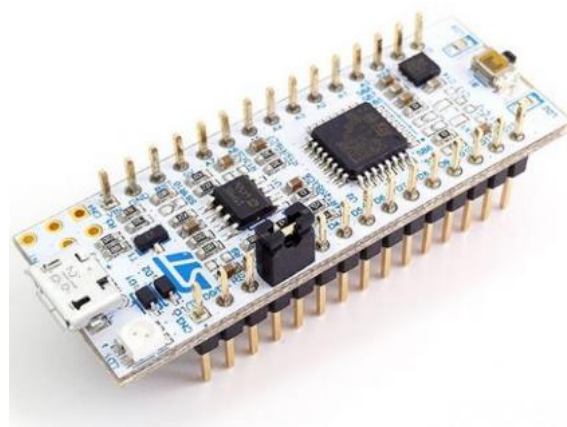
Тому побудову КП краще здійснювати на базі ARM мікроконтролера [10, 11].

Для простоти монтажу існують готові відладочні плати типу STM32-Discovery з сучасним 32-бітним мікроконтролером сімейства ARM фірми ST Microelectronics, з всім необхідним для програмування і відладки керуючої програми, які розглянуті в роботі [12], але вони занадто громіздкі. Більш компактним варіантом є відладочні плати, що показані на рис.23 а та рис. 23 б., характеристики обчислювальних ядер наведені в таблиці 10.

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						40
Зм.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		



а)



б)

Рисунок 23. Відладочні плати з мікроконтролерами сімейства ARM фірми ST Microelectronics: а) відладочна плата STM32F103C8T6, б) відладочна плата STM32 Nucleo-32 з контролером STM32F303K8T6

Таблиця 9. Загальна характеристика сімейства MSP430 на базі FRAM від «Texas Instruments»

Параметр	Значення
Частота (МГц)	16
FRAM (кб)	128
SRAM (кб)	2
16-бітних таймерів, шт	2
Контролер DMA	3
АЦП	2
Робочий діапазон температур, С	від -40 до +85

Таблиця 10. Характеристики відладочних плат сімейства ARM фірми ST Microelectronics

Модель:	STM32F103C8T6	STM32F303K8T6
Ядро:	ARM 32 Cortex-M3	ARM 32 Cortex-M4

Режим відладки:	SWD	SWD, JTAG
Робоча частота:	72 МГц	72 МГц
Пам'ять програм:	64 КБ	64 КБ
Пам'ять даних:	20 КБ	16 КБ
Напруга живлення:	2.0-3.6 В	2.0-3.6 В
Кварцевий резонатор:	8 МГц и 32768 кГц	4 - 32МГц и 32768 кГц

При побудові крокуючих роботів використовується декілька С, залежно від конструкції. Струм, який може видавати мікроконтролер або відладочна плата занадто малий для підключення більше, ніж одного привода, але і у такому випадку таке підключення не є цілком безпечним, оскільки мікроконтролер може вийти з ладу. Рішенням цієї проблеми є використання модуля розширення «16-канальний 12-bit PWM/Servo» (рис. 24) з I2C інтерфейсом на PCA9685 [13], за допомогою якого можливо підключити до 16 С, а поєднавши декілька таких плат – до 992. Даний модуль не лише дозволяє підключити велику кількість С, а й здійснює гальванічну розв'язку живлення, що підвищує надійність і дозволяє уникнути пошкодження мікроконтролера. Окремий вхід живлення С дає змогу розділити живлення на дві лінії – силову і лінію живлення мікроконтролера, що додатково убезпечує контролер, а, головне, дозволяє використовувати різні джерела живлення.

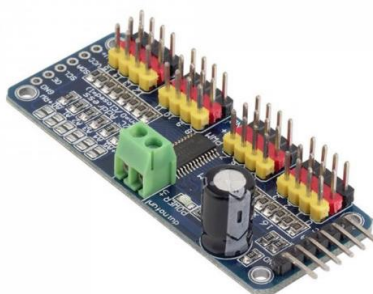


Рисунок 24. 16-канальний модуль 12-bit PWM/Servo з I2C інтерфейсом на PCA9685

2.5. Вибір чутливих елементів крокуючих платформ

Для вирішення питань позиціонування КП у просторі та планування маршрута, на платформі розташовують безплатформну інерціальну навігаційну систему яка може бути виконана на чутливих елементах різного типу, так для крокуючих платформ із великим корисним навантаженням використовують лазерні гіроскопи [14 - 15], для невеликих квадро та гексаподів використовують мікромеханічні Д (датчики) різної точності. Глобальне позиціонування реалізується із використанням GPS/ГЛОНАСС.

Для додаткової стійкості при подоланні перешкод та виконанні складних рухів, на кінцівках можуть бути розміщені Д тиску, або Д положення кінцівки, зазвичай це або оптичні, або індукційні Д. Для фіксування перешкод по азимуту, та побудови карти місцевості, використовуються оптичні системи машинного зору, що є найбільш розповсюдженим рішенням, проте такі системи або потребують додаткового обчислювального ядра, або значною мірою навантажують основний контролер, тому альтернативою таких систем є використання Д відстані на рухомій основі. Найбільш розповсюдженими чутливими елементами для реалізації зазначених систем є ультразвукові, інфрачервоні та лазерні вимірювачі відстані. На рис. 6 представлені ультразвуковий (рис. 25а) та лазерний (рис. 25 б) вимірювачі відстані. Принципи роботи, переваги та недоліки зазначених чутливих елементів описані у джерелах [16-17].



а



б

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		43

Рисунок 25. Вимірювачі відстані, що використовуються для побудови крокуючих платформ: а) ультразвуковий Д відстані SU04; б) лазерний Д відстані VL53L0X-V2

В роботі [17] показано застосування ультразвукового Д для побудови мобільного робота, але, незважаючи на суттєві переваги, їх використання обмежує розпізнавання перешкод через фізичні властивості ультразвукових хвиль. На відміну від світлових хвиль, акустичні важче фокусувати, а отже такі Д мають досить широку, у порівнянні з лазерними, діаграму направленості. Більшість доступних ультразвукових далекомірів (SR-04/05, US-15/100) вимірюють відстань до найближчої перешкоди. Тобто це унеможлиблює розпізнавання перешкод, що знаходяться на більшій відстані від Д, ніж перша. Такий недолік відсутній, наприклад, у лазерних далекомірів, проте використання таких Д, донедавна було економічно не виправданим.

VL53L0X від ST-Microelectronics (рис. 26) поєднує в собі провідні технології побудови оптичних Д, і на сьогоднішній день вважається найменшим у світі Д у даному класі [18]. Модуль розпізнає об'єкти на максимальній відстані до 2 м, напруга живлення в діапазоні 2.6 – 5.5 В, що відповідає стандартним рівням TTL для більшості сучасних контролерів, зв'язок з Д здійснюється за допомогою I²C інтерфейсу [19].

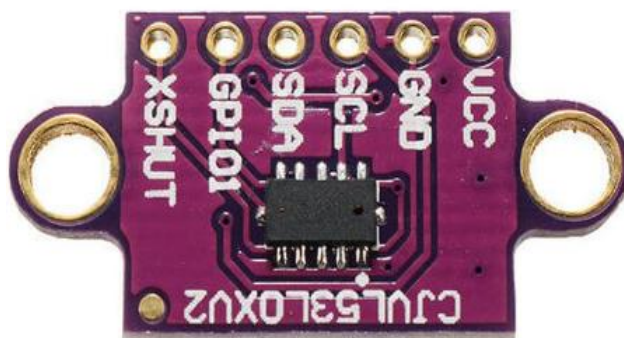


Рисунок 26. Лазерний Д відстані VL53L0X-V2

Керування роботом може здійснюватися як за допомогою дротового зв'язку, так і бездротовим способом із використанням WiFi модуля ESP-01

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Арк
						44
Зм.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		

ESP8266 (рис. 27). Даний модуль реалізує підтримку WiFi протоколів 802.11 b/g/n і може бути використаний для реалізації керування КП, передачі та прийому даних, використовуючи комп'ютер (К).

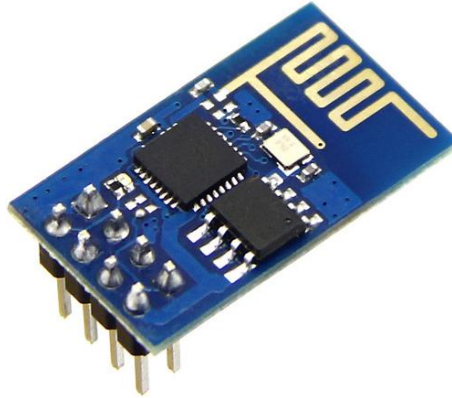


Рисунок 27. WI-FI модуль ESP-01 ESP8266.

Для компенсації недоліків кожного із чутливих елементів, а також для підвищення точності, сенсори можуть бути скомплексовані.

Окрім наведених чутливих елементів, на платформі, залежно від сфери застосування, можуть бути розміщені відеокамери, тепловізори, комплекси для проведення неруйнівного контролю та діагностики, системи пеленгу та фіксації цілей, кліматичні Д, тощо.

2.6. Вибір мови програмування для реалізації програмної частини

Історично склалося, що основними і найбільш популярними мовами програмування для мікроконтролерів є мова СІ і асемблер.

Мова СІ відноситься до мов високого рівня. Порівнюючи з асемблером, програми мовою СІ менш громіздкі, легші для порозуміння і відладки. СІ має величезну кількість різноманітних бібліотек готового коду для вирішення задач в самих різних сферах застосування мікроконтролерів.

Однак, тільки за допомогою асемблера можливо найбільш повно розкрити потенціал кожного мікроконтролера, тому що він забезпечує максимальну швидкодію і компактний код, що особливо важливо для

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
						45
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

контролерів з малим об'ємом пам'яті і невисокою тактовою частотою. Використання асемблера для написання складних проектів недоцільно, оскільки для цього необхідне глибоке знання архітектури та команд мікроконтролерів, що значно ускладнює його використання для навчання, відладки коду та подальшу його підтримку.

Також програмувати мікроконтролер можна, використовуючи мову Forth, основні можливості якої розглянуті в роботі [20], проте, варто зазначити, що компілятор – віртуальна машина Forth підтримує не всі мікроконтролери. А отже, в такому випадку, вибір контролера обмежується підтримкою Forth-компілятора.

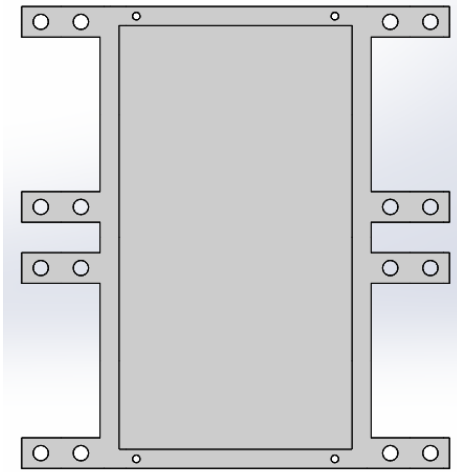
Зваживши усі переваги та недоліки, найкращим вибором є мова програмування C, оскільки має кращу підтримку зі сторони розробників мікроконтролерів.

Таким чином, використовуючи найбільш розповсюджені конструктивні рішення, що приведені вище, надалі буде створено макет КП із можливістю переносу корисного навантаження до 1 кг. Такий форм-фактор обраний із врахуванням економічної точки зору, проте, створений макетний зразок дозволить підтвердити або скоригувати критерії вибору кожної складової конструкції.

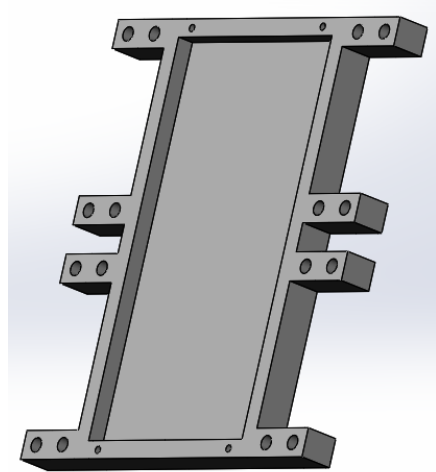
2.7. Розробка макету крокуючого робота

Розробка макету здійснювалась в CAD системі – SolidWorks [21]. На рис. 28 а, б показана частина робота, на котру кріпляться С та усі контролери.

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						46
Зм.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		



а)



б)

Рисунок 28. Основа платформи крокуючого робота.

На рис. 29 представлена верхня кришка.

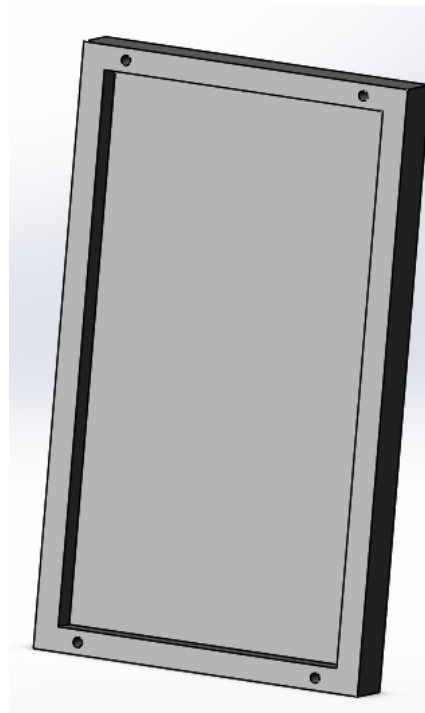


Рисунок 29. Верхня кришка платформи крокуючого робота.

На рис. 30 показаний шарнір.

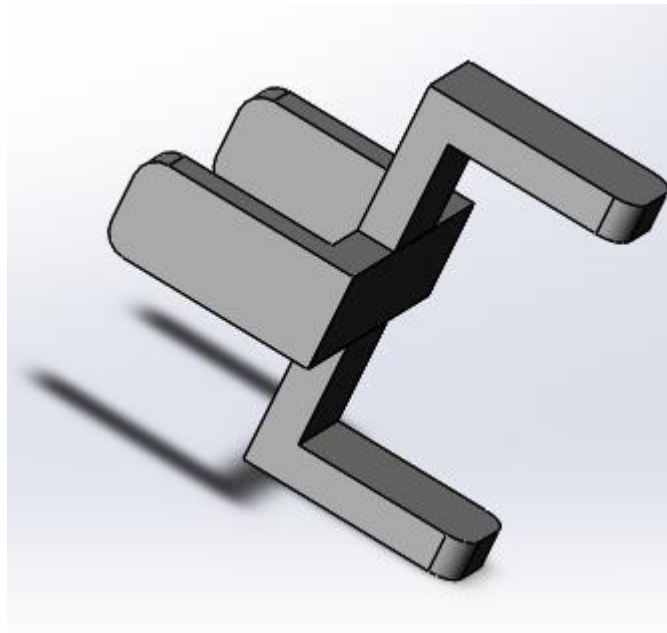
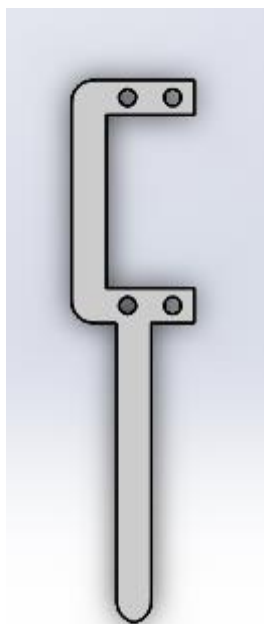
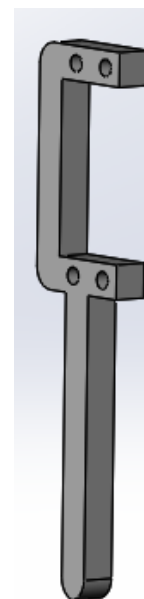


Рисунок 30. Шарнір.

На рис. 31 показана нога робота.



а)



б)

Рисунок 31. Нога робота.

Користуючись стандартними інструментами SolidWorks, усі елементи зібрані у єдину конструкцію (рис. 32)

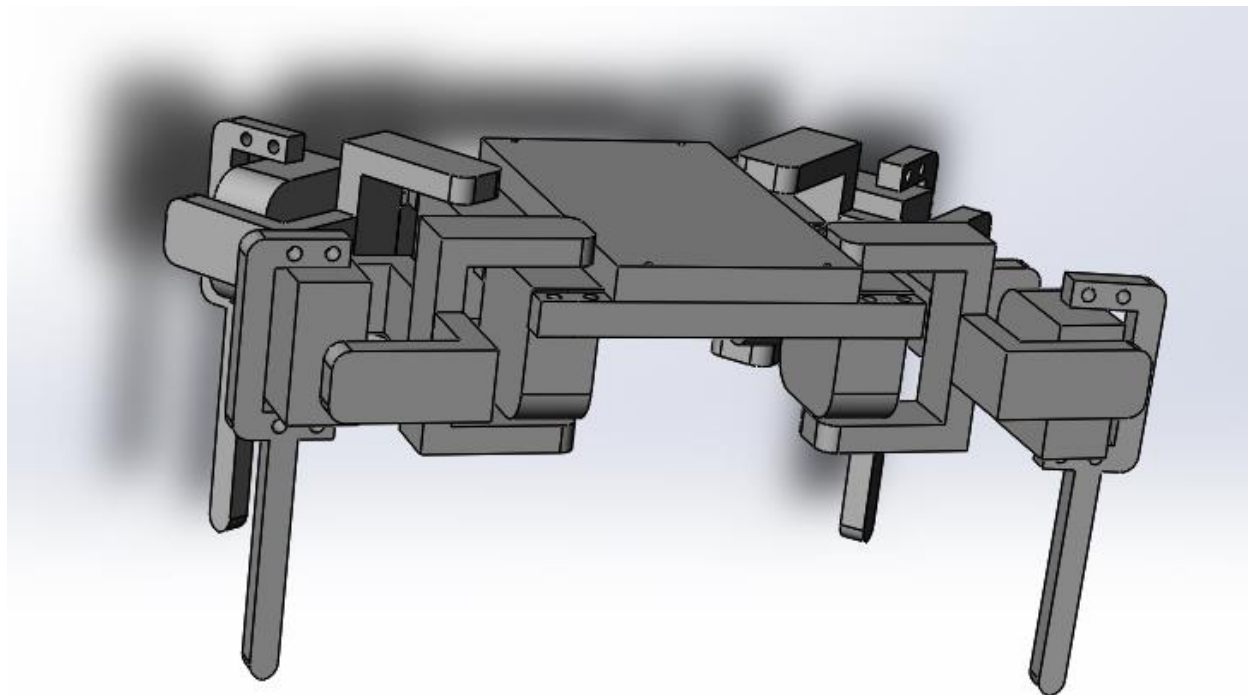


Рисунок 32. 3D-модель готової конструкції крокуючого робота.

2.8. Збірка макету крокуючого робота

Збірка макету здійснювалась без дотримання розмірів та форм фактору розробленої 3D - моделі. З метою демонстрації можливостей робота була реалізована спрощена конструкція з мінімально необхідною кількістю елементів, тобто без використання Д, блоків для бездротового керування та ін.

За основу, до якої кріпляться С та МК, був використаний якісний картон щільністю 400 г/м^2 . На рис. 33 показана основа платформи з закріпленими до неї С за допомогою мідної стяжки. Конструкція кінцівок КП представляє собою С з, обмотаним навколо нього, картоном, який подовжується за рахунок пінопласту, що додає конструкції більших амортизаційних властивостей. Для утримання складових кінцівки був використаний скотч (також можна використовувати клеї) Одна з кінцівок показана на рис. 34.

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		49



Рисунок 33. Основа платформи.



Рисунок 34. Кінцівка КП.

Кріплення кінцівок до основи відбувається за рахунок металевих скоб, що з'єднані між собою мідною стяжкою. Таке з'єднання показано на рис. 35.

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Арк
						50
Зм.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		



Рисунок 35. З'єднання кінцівки з основою

Для програмування, запуску та забезпечення працездатності обчислювального ядра та С була розроблена принципова електрична схема, яка використовувалась при збірці макету і представлена на рис. 36.

USB-TTL конвертер в даній схемі виконує роль програматора та джерела живлення МК, для розширення можливостей МК був використаний 16-канальний модуль 12-bit PWM/Servo, до якого підключені 8 С. В якості обчислювального ядра використаний МК ATMEGA328P. Така конфігурація дозволила швидко та легко побудувати керуючу частину КП. Імпульсний блок живлення використаний як окреме потужне джерело для С, оскільки потужності МК у такому випадку недостатньо.

Після з'єднання усіх модулів за наведеною схемою отримаємо готову конструкцію КП (рис. 37-38).

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
						51
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

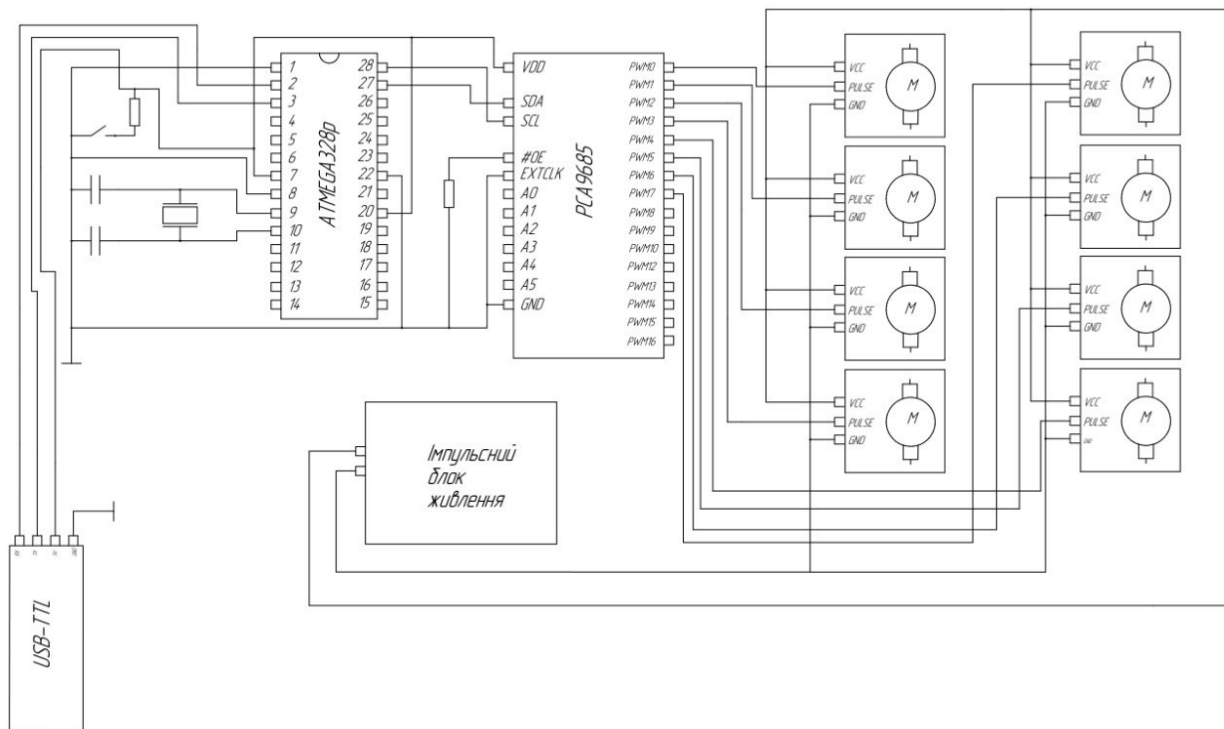


Рисунок 36. Принципова електрична схема керуючої частини КП.

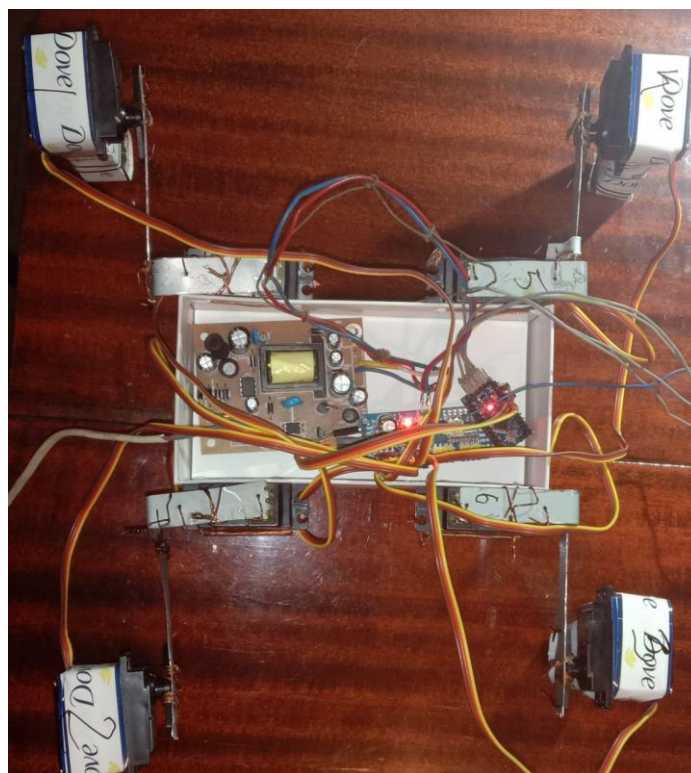


Рисунок 37. Зібрана конструкція вид 1.

Зм.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата

ПГн7109.1730.06.ПЗ

Адк

52

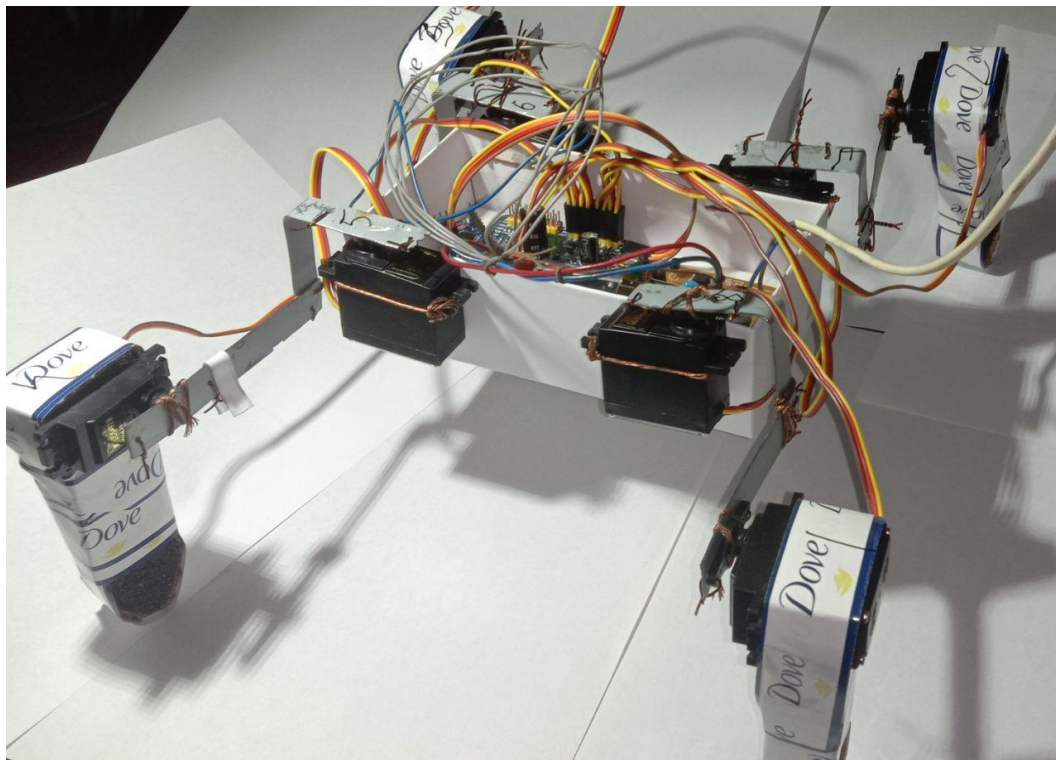


Рисунок 38. Зібрана конструкція вид 2.

Джерело живлення поміщається у корпус разом з МК та модулем розширення.

2.9. Випробовування макету

Випробовування виконується у наступному порядку:

- 1) після збірки усі з'єднання ретельно перевіряються
- 2) під'єднати імпульсний блок живлення до мережі 220-230 В 50 Гц.
- 3) під'єднати USB-TTL перехідник до комп'ютера та завантажити програму керування в МК
- 4) перезавантажити МК, натиснувши кнопку "Reset"
- 5) впевнитися у прямолінійному русі КП без істотних відхилень
- 6) повторити п.1 – п.5 повторити 5 разів, кожного разу перевіряючи траєкторію руху і надійність кріплення сервоприводів

Таке випробування показало працездатність конструкції та підтвердило правильність вибору усіх компонентів КП, не зважаючи на дещо змінену та спрощену конструкцію макету. Також випробування підтвердили економічний фактор побудови таких типових конструкцій.

ВИСНОВКИ

Головною метою дипломного проекту було створення дешевої, легкої у збірці, простої конструкції крокуючого робота з чотирма кінцівками (квадропода). Такий тип роботів може бути використаний в ході військових, виробничих, будівельних, пошукових і рятувальних операцій. Оскільки, існуючі розробки є доволі перспективними, то кожен існуючий прототип, що підтвердив свою ефективність, використовується для подальшої модернізації або розробки типових конструкцій.

Найчастіше, більшість реалізованих крокуючих платформ має шість рухомих кінцівок, т.з. гексаподи, проте останнім часом провідні виробники у сфері робототехніки націлені на виробництво, дослідження та покращення саме квадроподів, тому у проєкті було приділено увагу конструкції, що використовує чотири рухомі кінцівки, що зменшує витрати на виготовлення подібних платформ, причому не залежно від розмірів, потужності та сфери застосування.

Особливістю таких роботів є складність побудови і правильного підбору складових, їх характеристик, розташування, керуючих алгоритмів та ін. Тому багато уваги було приділено порівнянню та вибору серед існуючих компонентів та матеріалів таких, які найкраще підходять для побудови квадроподів. В результаті, обґрунтований вибір комплектуючих дозволив обрати сучасні та недорогі рішення, також була побудована 3D модель за допомогою якої вдалося легко підібрати підходящі габарити згідно обраних компонентів. Розроблено електричну схему блока керування та розглянуті варіації кінематики, що є найважливішою частиною, оскільки від кінематики залежить стабільність ходи, стійкість конструкції та можливість подолання перешкод.

В результаті був побудований макет квадропода, який в результаті тестових запусків підтвердив правильність вибору комплектуючих та дотримання розробленої концепції побудови таких конструкцій.

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Адк
						54
Зм.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		

В подальших роботах планується розглянути динамічні аспекти конструювання подібних конструкцій, більш глибокий аналіз кінематики та її вплив на ходу робота, встановлення різноманітних датчиків, що дозволить квадроподу орієнтуватися у просторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]. К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли, Робототехника. Изд-во: М.: Мир, 1989 г.
- [2]. A Controller for the LittleDog Quadruped Walking on Rough Terrain[Електронний ресурс]. Режим доступу:https://www.ihmc.us/users/jpratt/publications/2007_IHMC_ICRA_LittleDog.pdf
- [3]. Ядерные батарейки [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://m.polit.ru/article/2018/04/24/ps_mipt/
- [4]. Офіційний сайт Boston Dynamics [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bostondynamics.com/>
- [5]. 1969 – GE Walking Truck – Ralph Mosher (American) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://cyberneticzoo.com/walking-machines/1969-ge-walking-truck-ralph-mosher-american/>
- [6]. Робот-паук от Festo умеет сворачиваться в колесо [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://robo-hunter.com/news/robot-pauk-ot-festo-umeet-svorachivatsya-v-koleso10057>
- [7]. Робот-паук Неха «выгуливает» комнатные растения на солнце [Електронний ресурс]. Режим доступу:<https://gagadget.com/science/38806-robot-pauk-hexa-vyigulivaet-komnatnyie-rasteniya-na-solntse/#!>
- [8]. Как настроить ПИД-регулятор для гоночного робота? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://edurobots.ru/2019/01/pid/>
- [9]. Офіційний сайт Boston Dynamics [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bostondynamics.com/>
- [10]. І. М. Платов, О. М. Павловський “Вимірювання часу роботи функцій чисельного інтегрування на мікроконтролерах STM32F303VCT6, ATmega328P.”, XII Всеукраїнська науково-практична конференція Погляд у майбутнє приладобудування, КПП ім. Ігоря Сікорського, Київ ,2019. С. 42–45.
- [11]. STM32 Nucleo Boards [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/stm32-nucleo-boards.html>

					<i>ПГп7109.1730.06.ПЗ</i>	Адк
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		56

- [12]. І. М. Платов, О. М. Павловський “Переваги використання відладочних плат STM32DISCOVERY у навчальному процесі на кафедрі ПСОН” XI Науково-практична конференція Погляд у майбутнє приладобудування, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2018. С. 49–52.
- [13]. PCA9685 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/PCA9685.pdf>
- [14]. Аврутов В. В. О скалярной калибровке блока гироскопов и акселерометров / В. В. Аврутов // Вестник НТУУ "КПИ". Серия ПРИ ЛА ДОБУДУ ВАННЯ. - 2010. - Вип. 40. - С. 10-17.
- [15]. Аврутов В. В. Испытания инерциальных приборов: Учебное пособие. - К.:НТУУ "КПИ им. Игоря Сикорского", 2016. - 205 с.
- [16]. Ультразвуковой дальномер HC-SR04: подключение, схема, характеристики [Електронний ресурс]. Режим доступу:<http://wiki.amperka.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:hc-sr04-ultrasonic-sensor-distance-module>
- [17]. Костишин М.О. АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ / Костишин М. О., Жаринов И. О., Суслов В. Д. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2013. №2(84). с.162.
- [18]. VL53L0X. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/group3/b2/1e/33/77/c6/92/47/6b/DM00279086/files/DM00279086.pdf/jcr:content/translations/en.DM00279086.pdf>
- [19]. Интерфейсная шина IIC (I2C). [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://easyelectronics.ru/interface-bus-iic-i2c.html>, - 16.04.2009.
- [20]. Платов, І. М. Дослідження ефективності використання мови Forth на сучасних мікроконтролерах / І. М. Платов, О. М. Павловський // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-

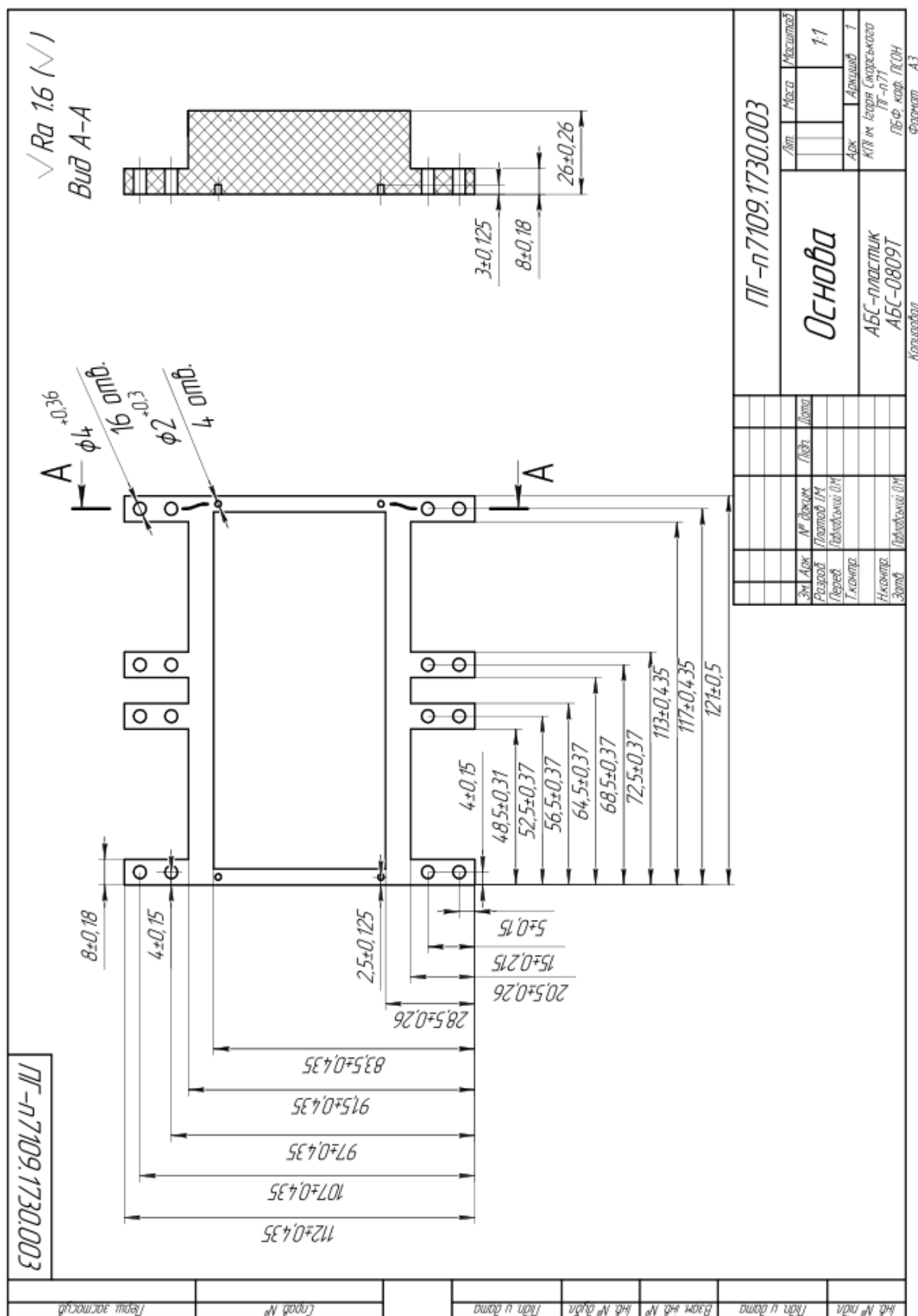
11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 41–44. – Бібліогр.: 7 назв.

[21]. SolidWorks. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.solidworks.com/ru>

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
						58
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

Креслення деталей

Креслення деталей



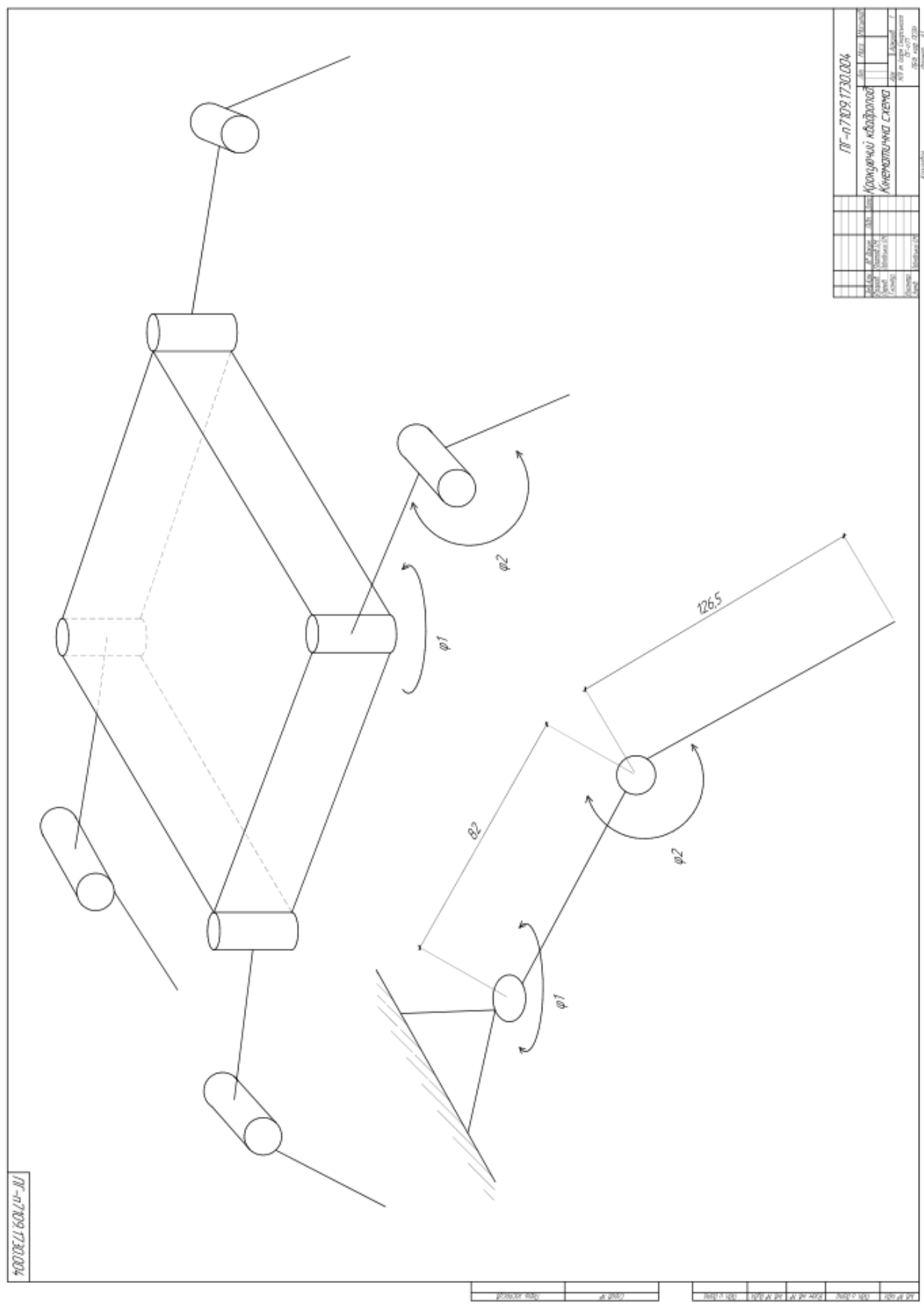
					ПГН 7109.1730.06.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		59

№ з/п	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
		<u>Документація</u>		
	ДП ПГ-п7109.1730.01 ТК	Збіркове креслення	1	
		<u>Збіркові одиниці</u>		
1		Основа	1	
2		Кришка	1	
3		Винт М2х8	4	
4		Винт М4х8	16	
5		Плата Arduino Pro Mini	1	
6		Модуль 12-bit PWM/Servo	1	
7		Акумулятор 18650	1	
		<u>Деталі</u>		
7	ДП ПГ-п7109.1730.01.01 ТК	Кришка	1	
8	ДП ПГ-п7109.1730.01. 01 ТК	Основа	1	

				ДП ПГ-п7109.1730.06		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Платов І.М.			Корпус	Лист	Листів
Керівн.	Павловський О.М.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ізоря Сікорського Каф. ПСОН Гр. ПГ-п71	
Н/контр.						

					ПГп7109.1730.06.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		62

Кінематична схема



Зм.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата

ЛГ 7109.1730.06.ПЗ

Адк

63

Код програми керування роботом

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_PWMServoDriver.h>
Adafruit_PWMServoDriver pwm = Adafruit_PWMServoDriver();
#define SERVOMIN 150
#define SERVOMAX 200
#define SERVOPORT 0
#define SERVOPORT1 1
#define SERVOPORT2 2
#define SERVOPORT3 3
#define SERVOPORT4 4
#define SERVOPORT5 5
#define SERVOPORT6 6
#define SERVOPORT7 7
void setup()
{
  pwm.begin();
  pwm.setPWMFreq(60);
  delay(10);}
void loop()
{
  for (uint16_t pulselen = SERVOMIN; pulselen < SERVOMAX; pulselen++) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT, 0, pulselen);
  }
  delay(250);
  for (uint16_t pulselen = SERVOMAX; pulselen > SERVOMIN; pulselen--) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT, 0, pulselen);
  }
  delay(250);
  for (uint16_t pulselen = SERVOMIN; pulselen < SERVOMAX; pulselen++) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT1, 0, pulselen);
  }
  delay(250);
  for (uint16_t pulselen = SERVOMAX; pulselen > SERVOMIN; pulselen--) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT1, 0, pulselen);
  }
  delay(250);
  for (uint16_t pulselen = SERVOMIN; pulselen < SERVOMAX; pulselen++) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT2, 0, pulselen);
  }
  delay(250);
  for (uint16_t pulselen = SERVOMAX; pulselen > SERVOMIN; pulselen--) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT2, 0, pulselen);
  }
  delay(250);

```

					ПГн7109.1730.06.ПЗ	Адк
						65
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		


```

for (uint16_t pulselen = SERVOMIN; pulselen < SERVOMAX; pulselen++) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT3, 0, pulselen);
}
delay(250);
for (uint16_t pulselen = SERVOMAX; pulselen > SERVOMIN; pulselen--) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT3, 0, pulselen);
}
delay(250);
for (uint16_t pulselen = SERVOMIN; pulselen < SERVOMAX; pulselen++) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT4, 0, pulselen);
}
delay(250);
for (uint16_t pulselen = SERVOMAX; pulselen > SERVOMIN; pulselen--) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT4, 0, pulselen);
}
delay(250);
for (uint16_t pulselen = 300; pulselen < 350; pulselen++) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT5, 0, pulselen);
}
delay(250);
for (uint16_t pulselen = 350; pulselen > 300; pulselen--) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT5, 0, pulselen);
}
delay(250);
for (uint16_t pulselen = SERVOMIN; pulselen < SERVOMAX; pulselen++) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT6, 0, pulselen);
}
delay(250);
for (uint16_t pulselen = SERVOMAX; pulselen > SERVOMIN; pulselen--) {
    pwm.setPWM(SERVOPORT6, 0, pulselen);
}
delay(250);
}

```